

ROHDE & SCHWARZ

BESCHREIBUNG

L-MESSGERÄT Type LARU

BESCHREIBUNG

L-MESSGERÄT

Type LARU BN 610

Anmerkung: Wir bitten, bei technischen Anfragen, insbesondere bei einer Anforderung von Ersatzteilen, außer der Type und Bestellnummer (BN) immer auch die Fabrikationsnummer (FNr.) des Gerätes anzugeben.

Ausgabe 610 A/1060

Inhaltsübersicht

1	Eigenschaften	3
2	Anwendung	4
3	Inbetriebnahme	4
3.1	Einstellen auf die gegebene Netzspannung und Einschalten	4
3.2	Anschließen einer Spule	4
4	Bedienung	5
4.1	L-Messung	5
4.11	Messung von Induktivitäten kleiner als 0,1 μH	9
4.12	Messung von Spulen größer als 1 H	9
4.13	L-Vergleichsmessung mit hoher Genauigkeit	10
4.2	Spulen-C-Messung	10
4.3	Messung der Resonanzfrequenz von Parallelschwingkreisen	11
5	Arbeitsweise und Aufbau	12
6	Röhrenwechsel	15
7	Schalteilliste	16
	Garantieverpflichtung	18
	Stromlauf zum LARU	19

1 Eigenschaften

L-Meßbereich	0,1 μ H . . . 1 H
unterteilt in 7 Bereiche	0,1 . . . 1 . . . 10 . . . 100 μ H 0,1 . . . 1 . . . 10 . . . 100 . . . 1000 mH
Fehlergrenzen (für Güten > 5)	$\pm 1\%$ $\pm 0,01 \mu$ H
Meßfrequenz	2,2 kHz . . . 4,5 MHz, je nach L-Wert
Zulässiger Gütewert der zu messenden Spule	2 . . . 600 (bei der jeweiligen Meßfrequenz)
Meßanschlüsse	2 Rändelklemmen (4 mm Bohrung, 30 mm Abstand, eine Klemme liegt an Masse)
Spulen-C-Messung (für Spulen $\geq 50 \mu$ H)	von 0 . . . ≥ 200 pF
Fehlergrenzen	$\pm 1,5$ pF $\pm 3\%$
Resonanzfrequenz-Meßbereich	2,2 kHz . . . 4,5 MHz, je nach L-Wert
unterteilt in 7 Bereiche	2,2 . . . 7 . . . 22 . . . 70 . . . 220 kHz 0,22 . . . 0,7 . . . 2,1 . . . 4,5 MHz
Fehlergrenzen der Frequenzzeichnung	$\pm 0,5\%$
Netzanschluß	115/125/220/235 V 47 . . . 63 Hz (10 VA)
Bestückung	1 Röhre 6 SN 7 1 Röhre 6 H 6 1 Schmelzeinsatz 0,1 C DIN 41571 (für 220/235 V) 1 Zwergglimmlampe 220 V
Abmessungen	286 x 227 x 226 mm (R&S-Normkasten Größe 35)
Gewicht	7 kg

2 Anwendung

Das L-Meßgerät Type LARU gestattet die direkte Messung der Selbstinduktion von Spulen im Bereich von $0,1 \mu\text{H}$ bis 1 H mit einer Genauigkeit von $\pm 1\% \pm 0,01 \mu\text{H}$ in jedem Teilmeßbereich. Gemessen wird nach der Resonanzmethode. Der Selbstinduktionswert ist an der Linearskala unmittelbar in Mikro- bzw. Millihenry ablesbar. Mit dem Gerät kann die Selbstinduktion einer kleinen Drahtschleife ebenso bequem gemessen werden wie der L-Wert von Massekernspulen bis 1 H . Bei Ausführung einer einfachen Differenzmessung sind jedoch auch größere Spulen bis etwa 10 H indirekt meßbar.

Außerdem kann man mit dem Gerät auf einfache Weise die Eigenkapazität von Spulen und die Resonanzfrequenz von Parallelschwingkreisen ermitteln. Die scharfe Resonanzanzeige des Gerätes ermöglicht auch die Ausführung sehr genauer L-Vergleichsmessungen mit einer Sicherheit von $\pm 0,1\%$. Diese Eigenschaft hat z. B. im Labor oder Prüffeld für die Herstellung von Normalspulen mit Hilfe einer anderen Normalspule oder für die exakte Gleichlauftrimmung von Mehrfach-Variometern besondere Bedeutung.

3 Inbetriebnahme

3.1 Einstellen auf die gegebene Netzspannung und Einschalten

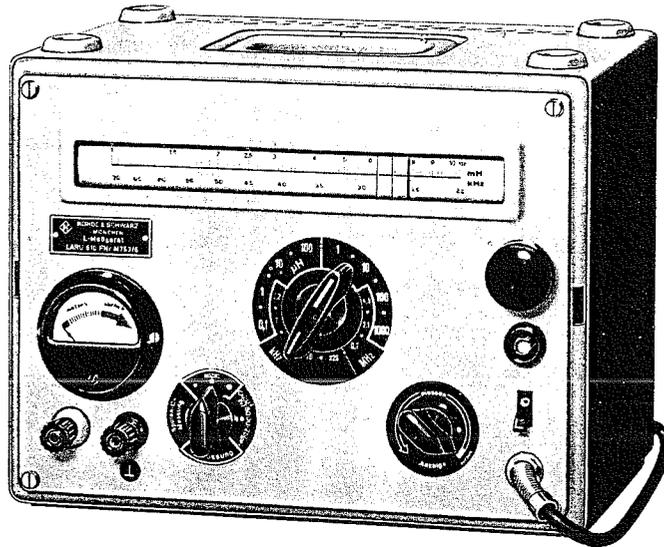
Das Gerät wird ab Werk für 220 V Netzspannung eingestellt geliefert. Zur Umstellung auf 115 , 125 oder 235 V muß man an den vier Ecken der Frontplatte die Schrauben lösen, das Gerät aus dem Gehäuse heben und (neben dem Netztransformator unten) auf dem Spannungswähler das mit der gegebenen Netzspannung bezeichnete Kontaktfedernpaar mit einer passenden Sicherung überbrücken. Für 220 und 235 V ist eine 100-mA -Sicherung (0,1 C DIN 41571) vorgesehen. Für 125 und 115 V ist eine 250-mA -Sicherung (0,25 C DIN 41571) einzusetzen.

Eingeschaltet wird das Gerät mit dem kleinen Kippschalter rechts unten über der Netzkabeleinführung. Die kleine Glimmlampe darüber dient zur Überwachung des Einschaltzustandes. Nach einer Einlaufzeit von etwa einer Minute ist das Gerät meßbereit.

3.2 Anschließen einer Spule

Die zu messende Spule wird so an die beiden Meßklemmen angeschlossen, daß der sonst im Betrieb auf Erdpotential liegende Spulenanschluß an der rechten (Masse-) Klemme liegt. Bei einer abgeschirmten Spule muß man unterscheiden zwischen L-Wert mit und ohne Abschirmung. Ohne Abschirmung ist der L-Wert größer. Auch eine Änderung des Abstandes zwischen einer nicht abgeschirmten Spule und der Frontplatte des

Gerätes kann den L-Wert unter Umständen erheblich ändern. Bei kleinen Spulenabmessungen, besonders bei Massekernspulen mit kleinem Streufeld, hat eine Annäherung an die Frontplatte oder eine Änderung des Abstandes zwischen Spule und einer metallischen Unterlage nur wenig oder keinen Einfluß. Bei großen Spulenabmessungen dagegen, besonders bei großen Luftspulen, kann eine Annäherung an die Frontplatte eine beträchtliche Herabsetzung des L-Wertes zur Folge haben.



Ist der L-Wert ohne Abschirmung zu messen, so vergrößere man den Abstand zwischen Spule und Frontplatte und einer etwa vorhandenen Metallunterlage, bis keine Abnahme des L-Wertes mehr feststellbar ist. Sind zur Messung einer in einem Gerät eingebauten Spule Zuleitungen erforderlich, so wird zunächst der L-Wert einschließlich Zuleitungen gemessen, dann deren Selbstinduktion ermittelt und dieser Wert vom ersten Meßergebnis abgezogen. Den L-Wert der Zuleitungen abzuziehen ist natürlich nur erforderlich, wenn er größer ist als etwa 0,5% des L-Wertes der Spule.

4 Bedienung

4.1 L-Messung

Der Pfeilknopf neben den Meßklemmen dient zur Wahl der Betriebsart „L-Messung“ oder „Spulen-C-Messung“ und zur Einstellung dreier verschiedener Kopplungsgrade bei L-Messung. Die Stärke der Kopplung ist durch verschieden große Punkte gekennzeichnet. In der Stellung des kleinsten Punktes ist die Kopplung (zwischen Sender und Meßkreis) am schwächsten. Zum Aufsuchen der Resonanz stellt man zunächst den mitt-

lernen, mit „suchen“ bezeichneten Kopplungsgrad ein. Der Pfeilknopf neben dem Netzschalter dient zur Regelung der Anzeige. Zum Aufsuchen der Resonanz wird dieser Knopf zunächst auf „suchen“ gestellt. Das Instrument zeigt hierbei, wenn der Meßbereichschalter und der Skalenzeiger nicht schon zufällig auf den L-Wert der angeschlossenen Spule eingestellt sind, nur einen kleinen Ausschlag, d. h., der Zeiger steht etwa in der Mitte des voll gezeichneten Nullstellungsfeldes (etwa auf 5% des Vollausschlages).

Der Flügelknopf des Meßbereich- und Frequenzbereichschalters ist mit einer weißen und einer roten Marke versehen. Die weiße gehört zu den L-Bereichen (weiße Schrift), die rote zu den Frequenzbereichen (rote Schrift).

Mit dem Flügelknopf wird nun auf den der Spule entsprechenden L-Bereich geschaltet und der Skalenzeiger mit dem Knopf rechts oben durchgedreht, bis der Instrumentausschlag einen Höchstwert erreicht hat. Dann dreht man den Regler „Anzeige“ nach links, bis der Ausschlag in den Bereich „messen“ kommt. Hierauf wird (bei erhöhter Abstimmstärke) nochmals die Abstimmung kontrolliert. Hiermit kommt man mit einer einzigen Verstellung des Reglers zur endgültigen Einstellung.

Bei Spulen schlechter Güte wird der Anzeigebereich „suchen“ nicht erreicht. In diesem Fall wird der Koppler von der Stellung „suchen“ eine Stufe nach rechts geschaltet und dann verfahren wie eben beschrieben. Bei sehr guten Spulen kann der Vollausschlag überschritten werden. In diesem Falle, und wenn in der linken Endstellung des Reglers „Anzeige“ der Bereich „messen“ nicht erreicht wird, geht man mit dem Koppler einen Schritt nach links.

Falls der zu messende L-Wert völlig unbekannt ist, so beginne man die Suche nach der Resonanz im ersten L-Bereich $0,1 \dots 1 \mu\text{H}$, d. h. bei der höchsten Meßfrequenz, um nicht irrtümlich auf eine Oberwelle abzustimmen. Denn es könnte, wenn man in einem höheren L-Bereich beginnen würde, der Fall eintreten, daß man beim Messen einer Spule mit z. B. $100 \mu\text{H}$ auch bei $900 \mu\text{H}$ und bei $400 \mu\text{H}$ je einen schwachen Resonanzausschlag erhält. Der Unterschied zwischen dem Ausschlag bei einer Oberwelle und dem bei der Grundwelle ist im Bereich „messen“ jedoch auch in ungünstigen Fällen so groß, daß eine unrichtige Resonanzeinstellung mit Sicherheit erkannt werden kann.

Trotz der relativ groß dimensionierten Meßkreiskapazität (5000 pF) ist in der L-Eichung des LARU in den Meßbereichen von $10 \mu\text{H} \dots 1000 \text{ mH}$ die durchschnittliche Eigenkapazität normaler Spulen berücksichtigt: 0 pF in den Bereichen $0,1 \dots 10 \mu\text{H}$, 10 pF in den Bereichen $10 \mu\text{H} \dots 100 \text{ mH}$ und 20 pF im Bereich $100 \dots 1000 \text{ mH}$. Demgemäß kann also die Eigenkapazität einer Spule auf die angegebenen Fehlergrenzen nur dann

einen Einfluß haben, wenn sie außergewöhnlich groß ist. Den Fehler kann man in diesem Falle, nachdem man die Eigenkapazität nach 4.2 ermittelt hat, durch folgende Formel korrigieren:

$$L_w = L_g \frac{5000}{5000 + (C_e - C_{eb})}$$

Hierin ist L_w die wirkliche Induktivität, L_g die mit dem LARU gemessene Induktivität, C_e die Eigenkapazität (pF) der Spule und C_{eb} die in der L-Eichung berücksichtigte Eigenkapazität 0 pF bzw. 10 pF bzw. 20 pF.

So erhält man z. B. für eine Spule mit einer außergewöhnlich großen Eigenkapazität $C_e = 100$ pF und einer gemessenen Induktivität $L_g = 10$ mH eine wirkliche Induktivität:

$$L_w = 10 \frac{5000}{5000 + (100 - 10)} = 9,82 \text{ mH}$$

Beim Messen von Spulen mit Ferrit- oder Massekern muß man berücksichtigen, daß am Meßobjekt, je nach dessen Güte und L-Wert, eine Spannung zwischen etwa 2 und 20 V auftritt, und daß dadurch infolge der Hysterese ein größerer L-Wert gemessen wird, als sich mit einer sehr kleinen Spannung ergeben würde. Ob die Spannung auf die jeweils zu messende Spule einen Einfluß hat, kann man ohne weiteres erkennen, indem man den L-Wert bei mindestens zwei der drei wählbaren Kopplungsgrade mißt, so zum Beispiel bei schwacher Kopplung (Schaltstellung mit kleinem Punkt) und bei mittlerer Kopplung (mittlere Schaltstellung). Stellt man hierbei eine L-Wert-Differenz fest, so kann man mit den beiden Meßwerten rasch näherungsweise denjenigen L-Wert ermitteln, der sich bei der Messung mit einer sehr kleinen Spannung ergeben würde; man braucht hierzu nur die Differenz der beiden L-Werte vom kleineren L-Wert abzuziehen. Hiermit ist also

$$L_w = L_1 - (L_2 - L_1),$$

wobei $L_w =$ L-Wert bei sehr kleiner Spannung, $L_1 =$ Meßwert mit LARU bei kleiner Kopplung und $L_2 =$ Meßwert mit LARU bei mittlerer Kopplung. Diese Methode erlaubt also die Feststellung, ob eine Spannungsabhängigkeit des Induktivitätswertes vorliegt, und sie ermöglicht mit ausreichender Genauigkeit die Ermittlung des L-Wertes, der sich bei Anwendung einer sehr kleinen Meßspannung (etwa $< 0,1$ V) ergeben würde; sie gibt jedoch noch keinen unmittelbaren Aufschluß über das Ausmaß der Spannungsabhängigkeit und über den L-Wert der Spule bei einer bestimmten Betriebsspannung. Aber auch diese Feststellung ist einfach: Man mißt hierzu außer dem L-Wert bei mindestens zwei oder besser bei allen drei wählbaren Kopplungsgraden auch die an der Spule auftretende Spannung. Dann zeichnet man eine Kurve nach Bild 1 und verlängert (extrapoliert) diese (in der Regel näherungsweise geradlinige)

Kurve bis zur Spannung 0 V. Die hier als Beispiel dargestellte Kurve bezieht sich auf eine Ferritkern-Spule ohne Luftspalt. Hiermit läßt sich der L-Wert für alle innerhalb dieser Kurve liegenden Spannungswerte ermitteln. Zur Messung der Spannung benötigt man ein Röhrenvoltmeter mit kleiner Eingangskapazität und hohem Eingangswiderstand. Gut geeignet ist zum Beispiel unser Gerät Type URI.

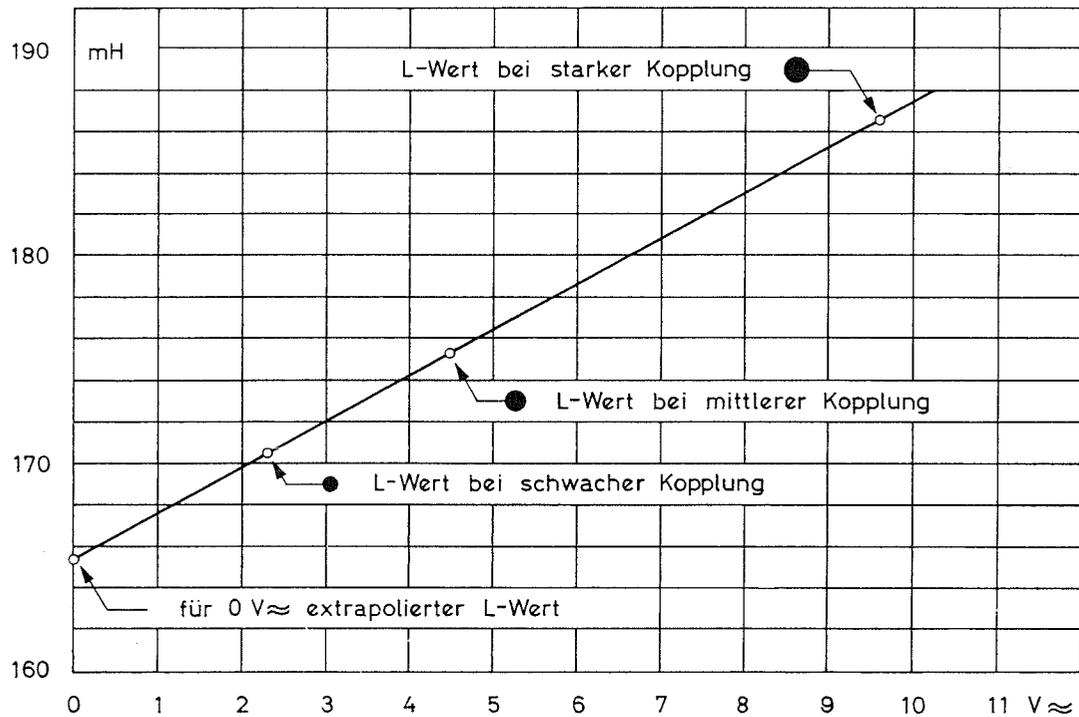


Bild 1. Beispiel einer Kurve zur Ermittlung des L-Wertes einer Ferrit- oder Massekern-Spule

Beim Messen von Blechkern-Spulen sind es neben den Hystereseverlusten vor allem die Wirbelstromverluste, die eine L-Änderung zur Folge haben; und zwar entsteht hierbei, im Gegensatz zum Hystereseeinfluß, eine frequenzabhängige Verringerung des L-Wertes. Das heißt, das LARU mißt auf Grund der für die Messung notwendigen Frequenz ($> 2,2$ kHz) eine kleinere Induktivität, als sich beim Messen mit einer viel tieferen Frequenz (z. B. 50 Hz) ergeben würde. Die Abhängigkeit von Blechsorte, Luftspalt, Meßspannung und Meßfrequenz ist hierbei verwickelter als bei den oben genannten Ferrit- und Massekern-Spulen. Für die Meßbarkeit einer Blechkern-Spule gilt folgende einfache Regel: Wenn sich bei größtem Kopplungsgrad und bei auf „suchen“ gestelltem Regler ein Resonanzausschlag ergibt, der über dem ersten Drittel des (der Pfeillänge entsprechenden) Skalenbogens liegt, dann ist die Spule mit einer für die Praxis ausreichenden Genauigkeit meßbar. Die Differenz, um die hierbei eine Induktivität auf Grund der Wirbelstromverluste kleiner gemessen wird, beträgt in der Regel höchstens

5%. Meßbar sind zum Beispiel: Spulen mit Dynamo-Blech IV, 0,35 mm Blechstärke, ohne Luftspalt, $L \geq 100$ mH; beziehungsweise mit Luftspalt 0,5 ... 1 mm, $L \geq 50$ mH. Nickeleisen-Spulen, 0,1 mm Blechstärke, ohne Luftspalt, $L \geq 20$ mH. Nicht meßbar sind dagegen Mumetall-Spulen ohne Luftspalt sowie Nickeleisen-Spulen ohne Luftspalt und 0,35 mm Blechstärke.

Bei Blechkern-Spulen mit Luftspalt hoher Güte können neben den Wirbelstromverlusten hauptsächlich die Hystereseverluste eine L-Änderung zur Folge haben. In diesem Fall gilt dann das über Ferrit- und Massekern-Spulen Gesagte.

4.11 Messung von Induktivitäten kleiner als 0,1 μ H

Mit Hilfe einer Spule L_h (Drahtschleife), die am unteren Ende des kleinsten Bereiches (0,1 ... 1 μ H) noch direkt meßbar ist, kann man durch Ausführung einer einfachen Differenzmessung auch L-Werte unter 0,1 μ H indirekt messen. Hierzu mißt man erst den L-Wert der Hilfsspule L_h , schaltet dieser dann L_x in Reihe und mißt den L-Wert der Reihenschaltung $L_s = L_h + L_x$. Damit erhält man $L_x = L_s - L_h$.

Voraussetzung ist hierbei, daß die gegenseitige induktive Kopplung vernachlässigbar klein ist. Als Hilfsspule mit einem L-Wert von rund 0,2 μ H kann man z. B. eine etwa 10 cm lange, haarnadelförmig gebogene Drahtschleife (aus 20 cm Kupferdraht, 1 mm ϕ) verwenden, an deren Enden man 4-mm-Stifte anlötet. Diese Schleife schneidet man in der Mitte durch und fügt hier die zu messende Spule so ein, daß ihre Achse auf der Achse der Drahtschleife senkrecht steht.

Mit abnehmendem L-Wert von L_x und zunehmendem L-Wert von L_h nimmt die Meßgenauigkeit rasch ab. So ist z. B. eine Spule $L_x = 0,05$ μ H bei Verwendung einer Hilfsspule $L_h = 0,2$ μ H nur mehr mit etwa $\pm 5\%$ Genauigkeit meßbar.

4.12 Messung von Spulen größer als 1 H

Mit Hilfe einer Spule L_h , die am oberen Ende des größten Meßbereiches (100 ... 1000 mH) noch direkt meßbar ist, kann man auch größere Spulen mit einem L-Wert von 1 bis etwa 10 H indirekt messen. Hierzu ermittelt man erst den L-Wert der Hilfsspule L_h , schaltet dieser dann L_x parallel und mißt den L-Wert der Parallelschaltung L_p . Damit erhält man $L_x = (L_h \cdot L_p) / (L_h - L_p)$.

Auch hier muß man dafür sorgen, daß L_h und L_x völlig entkoppelt sind. Mit zunehmendem L-Wert von L_x nimmt die Meßgenauigkeit rasch ab. Eine Spule mit z. B. 10 H (in Parallelschaltung mit $L_h = 1$ H) ist nur mehr mit etwa $\pm 10\%$ Genauigkeit meßbar.

4.13 L-Vergleichsmessung mit hoher Genauigkeit

Die scharfe Resonanzanzeige im Anzeigebereich „messen“ gestattet L-Vergleichsmessungen mit einer Sicherheit von $\pm 0,1\%$. Hierbei darf jedoch, bedingt durch die Größe der inneren Meßkreis­kapazität, der Unterschied der Eigenkapazitäten von L_N (Normal­spule) und L_x nicht größer sein als 5 pF. Hätte z. B. die Normal­spule eine Eigenkapazität von 50 pF und die zu messende (oder abzugleichende) Spule eine von 100 pF, so wäre die Vergleichsmessung nur mehr mit $\pm 1\%$ Genauigkeit möglich, d. h., man würde durch die Anwendung einer Normal­spule keine Genauigkeitssteigerung erreichen. Ge­naue Vergleichsmessungen sind aber trotz sehr unterschiedlicher Eigenkapazitäten aus­führbar, wenn man die Eigenkapazitäten von L_N und L_x durch eine Zusatzkapazität ein­ander angleicht. Nach obigem Beispiel müßte also der Spule L_x eine Zusatzkapazität von 50 pF parallelgeschaltet werden, um Kapazitätsgleichheit zu erzielen.

Beim Abgleich einer Spule L_x nach einem Normal L_N schließt man erst L_N an, stimmt am LARU genau auf Resonanz ab, ersetzt dann L_N durch L_x und gleicht diese ab, bis das LARU wieder genau Resonanz anzeigt. Damit ist $L_x = L_N$.

4.2 Spulen-C-Messung

Zur Ermittlung der Eigenkapazität einer Spule sind zwei Messungen und eine einfache Rechnung erforderlich. Bei der ersten Messung geht man so vor, wie für die L-Messung beschrieben, liest an der Skala aber nicht den L-Wert, sondern die zugehörige Fre­quenz „ f_L “ ab. Für die zweite Messung wird der Betriebsartenschalter auf „Spulen­C-Messung“ geschaltet. Die Abstimmung wird nun nach höheren Frequenzen hin durch­gedreht, bis wieder Resonanz erreicht ist. Den Regler „Anzeige“ stellt man dabei so ein, daß im Anzeigebereich „messen“ abgestimmt werden kann. An der Skala liest man nun die Frequenz „ f_e “ ab und ermittelt die Eigenkapazität in Pikofarad aus

$$C = \left(\frac{f_L}{f_e} \right)^2 5000 - 25. \quad (\text{pF})$$

Diese Formel gilt für die normalerweise vorkommenden C-Werte. Bei Werten über etwa 100 pF empfiehlt sich die Anwendung folgender Formel:

$$C = \frac{5000 (f_L / f_e)^2}{1 - (f_L / f_e)^2}$$

Der Meßbereich für C beginnt bei 0 pF; nach oben ist er jedoch von der Spulengüte Q abhängig. Die obere C-Meßbereichsgrenze liegt zum Beispiel für $Q = 10, 25, 50, 100$, bei $C = 200, 500, 1000, 2000$ pF.

Außerdem besteht eine untere Grenze für den L-Wert einer Spule, deren C gemessen werden soll. Entsprechend der höchsten einstellbaren Frequenz von 4,5 MHz und der inneren Meßkreiskapazität von 25 pF (in der Betriebsart Spulen-C-Messung) liegt die untere Grenze bei 50 μ H für C = 0 pF und z. B. bei 25 μ H für C = 25 pF. Die Fehlergrenzen betragen $\pm 1,5$ pF $\pm 3\%$, d. h., unter 50 pF ist mit einer Unsicherheit von etwa $\pm 1,5$ pF und über 50 pF mit einer von etwa $\pm 3\%$ zu rechnen.

4.3 Messung der Resonanzfrequenz von Parallelschwingkreisen

Bei Einstellung des Betriebsartenschalters auf „Spulen-C-Messung“ kann die Eigenresonanz eines Parallelschwingkreises gemessen werden oder auch auf einen vorgeschriebenen Wert abgeglichen werden, wenn die Kapazität oder die Induktivität des Kreises veränderbar ist.

Falls die Resonanzfrequenz des zu messenden Kreises völlig unbekannt ist, so beginne man beim Aufsuchen der Resonanz am besten mit dem höchsten Frequenzbereich (2,1 ... 4,5 MHz), um nicht irrtümlich auf eine Oberwelle abzustimmen. Beim Messen von Schwingkreisen mit kleiner Kapazität muß man berücksichtigen, daß dem Kreis die innere Meßkreiskapazität $C_i = 25$ pF parallel liegt und daß dadurch die Resonanzfrequenz herabgesetzt wird.

In manchen Fällen, z. B. beim Vorabgleich von Bandfilterkreisen mit $C \approx 200$ pF, spielt die durch C_i verursachte Herabsetzung der Resonanzfrequenz keine Rolle, denn in der Regel betragen auch die Schalt- und Röhrenkapazitäten im Empfänger rund 15 pF, so daß sich also der Frequenzfehler des Vorabgleichs auf etwa 1% reduziert.

Wenn aber die Resonanzfrequenz des freien Schwingkreises ermittelt werden soll, so mißt man erst den L-Wert, berechnet dann die der Spule parallelliegende Kapazität aus

$$C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} - C_i$$

und hieraus die wirkliche Resonanzfrequenz des freien Schwingkreises:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Die Ausführbarkeit einer Resonanzfrequenzmessung ist außer von der höchsten einstellbaren Frequenz (4,5 MHz) auch von der Güte Q der Spule und der Schwingkreiskapazität C abhängig. Je größer Q ist, desto größer darf C sein, zum Beispiel mit Q = 10, 25, 50, 100 darf C = 200, 500, 1000, 2000 pF betragen.

5 Aufbau und Arbeitsweise

Bild 2 zeigt die vereinfachte Schaltung des L-Meßgerätes LARU. Es besteht im wesentlichen aus dem Sender, Meßkreis und Anzeigeteil. Als Senderröhre dient ein System der Duotriode RÖ1. Der Anzeigeteil enthält zur Gleichrichtung der Resonanzspannung die Duodiode RÖ2 und zur Verstärkung der Richtspannung das zweite System der Duotriode RÖ1.

Beim Messen der Selbstinduktion einer Spule ist die Arbeitsweise wie folgt: Die zu messende Spule L_x bildet mit dem im Gerät eingebauten Meßkreiskondensator C_M einen Parallelschwingkreis, der über den in drei Stufen umschaltbaren Koppelkondensator C_k

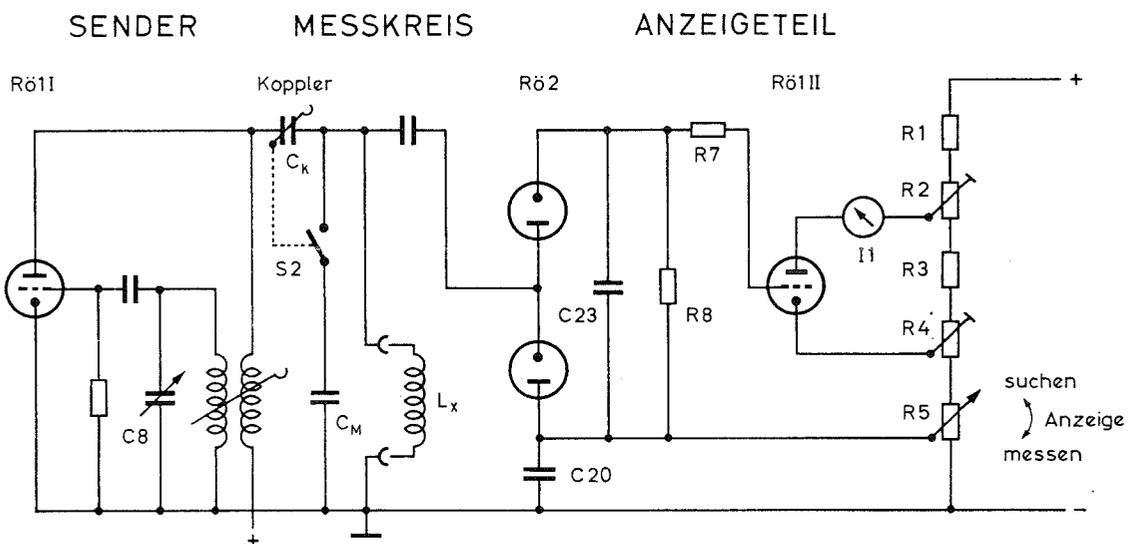


Bild 2. Vereinfachte Schaltung des L-Meßgerätes Type LARU

mit dem Sender gekoppelt ist. Der Wert von C_M beträgt einschließlich Schaltkapazität 5000 pF. Der Schalter S2 ist bei L-Messung geschlossen. Verändert man die Frequenz des Senders, bis sie mit der Resonanzfrequenz

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_M L_x}}$$

des Meßkreises übereinstimmt, dann ist

$$L_x = \frac{1}{(2\pi f)^2 C_M}$$

Damit L_x nach ausgeführter Resonanzeinstellung unmittelbar abgelesen werden kann, ist die Skala des Sender-Drehkondensators C8 auch in Selbstinduktionswerten geeicht.

Zur Anzeige der Resonanzabstimmung wird die am Meßkreis auftretende Spannung den Diodenstrecken von RÖ2 zugeführt und mit der am Arbeitswiderstand R8 entstehenden Richtspannung der Anzeigeverstärker gesteuert. Der Drehspulstrommesser I1 zeigt

die Spannung an. Da der Gleichrichter an das Gitter des Anzeigeverstärkers eine positive Spannung liefert, nimmt der Instrumentausschlag mit steigender Meßkreis- spannung zu. Die Abgriffe der Widerstände R2 und R4 sind so eingestellt, daß das Instrument, wenn am Meßkreis keine Spannung vorhanden ist, bei ganz (in Richtung „suchen“) aufgedrehtem Regler „Anzeige“ nur einen kleinen Ausschlag zeigt. Beim Abstimmen auf Resonanz steigt der Instrumentausschlag zunächst linear an, nimmt aber dann, wenn die positive Richtspannung die negative Grundgittervorspannung über- kompensiert und (in R7 + R8) einen Gitterstrom hervorruft, annähernd logarithmisch zu. Auf der Skala des Instrumentes ist der lineare Anzeigebereich mit „messen“, der logarithmische mit „suchen“ bezeichnet.

Nach Einstellung einer geeigneten Koppelkapazität C_k wird beim Durchdrehen der Ab- stimmung vom Instrument die ganze Resonanzkurve angezeigt, wobei deren Kuppe im logarithmisch verlaufenden Anzeigebereich „suchen“ liegt. Die Bandbreite des Meß- kreises erscheint hierbei also entsprechend breit. Dreht man den Regler „Anzeige“ in Richtung „messen“ so weit zurück, daß die Richtspannung die Grundgittervorspannung nicht mehr überkompensiert, so liegt die Resonanzspitze im linearen Bereich „messen“, und es wird hierbei beim Durchdrehen der Abstimmung nur mehr die oberste Kuppe der Resonanzkurve angezeigt. Hiermit ist also die Resonanzanzeige, je nach Güte der zu messenden Spule, sehr scharf.

Die Kapazitätswerte in den drei Kopplerstufen betragen etwa 2 pF, 6 pF und 20 pF. Hiermit kann sowohl für sehr große Spulengüten ($Q \leq 600$) als auch für sehr kleine ($Q \geq 2$) bei der jeweiligen Meßfrequenz zwischen Sender und Meßkreis optimaler Kopplungsgrad hergestellt werden. Dabei ist die Schaltung des Kopplers (siehe Strom- lauf) so dimensioniert, daß die Umschaltung des Kopplungsgrades weder auf den Schwingkreis des Senders noch auf den Meßkreis einen verstimmenden Einfluß hat. Durch die Umschaltung des Kopplungsgrades wird also die Meßgenauigkeit keinesfalls beeinträchtigt. Die drei wählbaren Kopplungsgrade sind auf dem Bezeichnungsschild des Betriebsartenschalters durch verschieden große Punkte gekennzeichnet.

Für die Ermittlung der Eigenkapazität einer Spule sind zwei Messungen und eine ein- fache Rechnung erforderlich. Zuerst wird (nach Bild 2) bei geschlossenem Schalter S2 (wobei $C_M = 5000$ pF) auf Resonanz abgestimmt (wie bei der L-Messung) und auf der Skala des Senderdrehkondensators die Frequenz f_L abgelesen. Dann wird S2 geöffnet, wieder auf Resonanz abgestimmt und die Frequenz f_e abgelesen. Bei geöffnetem Schal- ter S2 besteht die Meßkreis- kapazität nur aus der inneren Koppel- und Schaltkapazität $C_i = 25$ pF und aus der Eigenkapazität C_e der zu untersuchenden Spule. Die Resonanz-

frequenz f_e liegt hiermit also entsprechend höher. Den Wert der Eigenkapazität in Piko-
farad erhält man aus

$$C_e = (f_l / f_e)^2 C_M - C_i,$$

das heißt, nach Einsetzen der stets gleichbleibenden Kapazitätswerte aus

$$C = (f_l / f_e)^2 5000 - 25, \quad (\text{pF})$$

wie auf dem Bezeichnungsschild des Betriebsartenschalters für Spulen-C-Messung angegeben. f_l und f_e sind jeweils in der gleichen Einheit (z. B. in kHz) einzusetzen. In dieser Betriebsart wird mit stets gleichbleibendem Kopplungsgrad gearbeitet. Zur Einregelung des Zeigerausschlages auf den Anzeigebereich „messen“ wird hier nur der Regler „Anzeige“ benutzt. Der Meßbereich für C beginnt bei 0 pF. Bedingt durch die sehr kleine Koppelkapazität (≈ 1 pF) zwischen Sender und Meßkreis sowie durch die untere Grenze (≈ 2 V) des Spannungsanzeigebereiches ist die obere Grenze des C-Meßbereiches von der Güte der zu untersuchenden Spule abhängig. Je größer die Güte, desto größer darf die zu messende Eigenkapazität sein. Außerdem besteht wegen der höchsten einstellbaren Frequenz (4,5 MHz) eine untere Grenze für den L-Wert einer Spule, deren C gemessen werden soll. Die Grenze liegt z. B. für $C = 0$ pF bei $L = 50 \mu\text{H}$ und für $C = 25$ pF bei $L = 25 \mu\text{H}$.

Die Messung der Eigenresonanz eines Parallelschwingkreises erfolgt bei geöffnetem Schalter S2, d. h. in der Stellung „Spulen-C-Messung“. Hierbei muß man ebenfalls berücksichtigen, daß dem außen angeschlossenen Kreis die innere Koppel- und Schaltkapazität $C_i = 25$ pF parallel liegt und hierdurch (je nach Größe der Parallelkapazität des zu messenden Kreises) eine etwas tiefere Eigenresonanz ermittelt wird als der Kreis in Wirklichkeit hat. Hinsichtlich der größten Parallelkapazität, die der Kreis bei einer bestimmten Spulengüte besitzen darf, gilt dasselbe wie bei der Spulen-C-Messung (siehe auch unter 4.2).

Der Sender (siehe Stromlauf) verfügt für jeden der sieben L-Meßbereiche über je einen Schwingkreis. Um den Klirrfaktor der erregten Hochfrequenz-Spannung möglichst klein zu halten, wird mit dem Schalter S1 II R die Gitter-RC-Kombination der Senderröhre für eine in jedem Bereich jeweils günstige Spannungsbegrenzung umgeschaltet.

Die siebenteilige Linearskala des Senderdrehkondensators dreht sich zwangsläufig mit dem Meßbereichschalter, und in der Frontplatte ist der Ausschnitt für das Skalenfenster nur so groß gehalten, daß von außen jeweils nur die Skala des eingeschalteten Bereiches sichtbar ist. Hierdurch ist die Gefahr einer Bereichsverwechslung ausgeschlossen. Parallaxenfreie Ablesbarkeit der Skala gewährleistet der Doppelhaarstrich im Skalenzeiger.

Der Netzteil ist für die vier Netzwechselspannungen 115, 125, 220 und 235 V eingerichtet. Zur Erzeugung der Anodengleichspannung ist der Selengleichrichter G11 eingesetzt.

Das Gehäuse des Gerätes ist aus Stahlblech. Es besitzt oben einen aufklappbaren Traggriff und zum Schutz der Frontplatte (beim Transport) einen aufsetzbaren Stahlblechdeckel. Die vier Näpfehen auf der Oberseite des Gerätes verhindern das Abgleiten eines gegebenenfalls darüber gestellten R & S-Gerätes (mit gleichen Bodenabmessungen).

6 Röhrenwechsel

Das Auswechseln der Duodiode **Rö2** = 6 H 6 hat auf die Funktion und Genauigkeit des Gerätes keinen Einfluß. Das Auswechseln der Duotriode **Rö1** = 6 SN 7 beeinflußt zwar nicht die Genauigkeit der L- und f-Eichung, es kann jedoch erforderlich sein, den (im Werk an den Widerständen R2 und R4 vorgenommenen) Abgleich des Anzeigeverstärkers wieder richtigzustellen. Hierzu drehe man den Regler „Anzeige“ an den rechten Anschlag auf „suchen“, lege an den Widerstand R8 eine erdfreie Gleichspannung von 25 V mit dem positiven Pol an R7 und stelle mittels R2 den Instrumentausschlag auf die Pfeilspitze (Vollausschlag). Hierauf nehme man die Gleichspannung weg und stelle mittels R4 den Instrumentausschlag auf die Mitte des voll gezeichneten Anfangsbereiches, d. h. auf etwa 5% des Vollausschlages, ein. Da sich diese beiden Einstellungen gegenseitig beeinflussen, muß der gesamte Abgleichvorgang etwa zwei- bis dreimal wiederholt werden. Es empfiehlt sich, diesen Abgleich beim Nennwert (220 V) der Netzspannung auszuführen.

Die beiden Regelwiderstände R2 und R4 befinden sich nebeneinander in der Nähe des Netzspannungswählers und sind von unten mit einem Schraubenzieher einstellbar. R4 ist der dem Spannungswähler näher liegende Regler.

7 Schaltteilliste

Kennzeichen	Benennung	Wert	R&S-Sach-Nr.
C 1	Kf-Kondensator	10 000 pF/250 V	CKS 10 000/250
C 3	Kf-Kondensator	1000 pF/500 V	CKS 1000/500
C 4	Kf-Kondensator	1000 pF/500 V	CKS 1000/500
C 5	Kf-Kondensator	750 pF/500 V	CKS 750/500
C 6	Kf-Kondensator	500 pF/500 V	CKS 500/500
C 7	Kf-Kondensator	250 pF/1000 V	CKS 250/1000
C 8	Drehkondensator	$\Delta C = 1030 \text{ pF}$	CD 8527
C 9	Keramik-Kondensator	150 pF	CCH 68/150
C 10	Keramik-Kondensator	Trimmwert	CCG... oder CCH...
C 11	Scheibentrimmer	4... 20 pF	CV 924
C 12	Scheibentrimmer	4... 20 pF	CV 924
C 13	Scheibentrimmer	4... 20 pF	CV 924
C 14	Scheibentrimmer	4... 20 pF	CV 924
C 15	Scheibentrimmer	4... 20 pF	CV 924
C 16	Scheibentrimmer Keramik-Kondensator	4... 20 pF 20... 30 pF	CV 924 CCH... parallel
C 17	Scheibentrimmer Keramik-Kondensator	4... 20 pF 60... 100 pF	CV 924 CCH... parallel
C 19	MP-Kondensator	4 μF /160 V	CMR 4/160
C 20	Kf-Kondensator	10 000 pF/250 V	CKS 10 000/250
C 21	Keramik-Kondensator	22 pF	CCH 31/22
C 22	Kf-Kondensator	500 pF/500 V	CKS 500/500
C 23	Kf-Kondensator	500 pF/500 V	CKS 500/500
C 24	Keramik-Kondensator	6 pF	CCG 68/6
C 25	Keramik-Kondensator	47 pF	CCH 68/47
C 26	Keramischer Rohrtrimmer	5 pF	CV 7205
C 27	Scheibentrimmer	10... 60 pF	CV 944
C 28	Glimmer-Kondensator Keramik-Kondensator	4875 pF/250 V 20... 40 pF	CGJ 4875/1/250 A 4 CCG... oder CCH...
C 30	Keramik-Kondensator	1 pF	CCG 11/1
C 31	Keramik-Kondensator	22 pF	CCG 68/22
C 32	Keramik-Kondensator	1 pF	CCG 11/1
C 33	Keramik-Kondensator	15 pF	CCG 68/15
C 34	Keramik-Kondensator	5 pF	CCG 68/5
C 35	Keramik-Kondensator	22 pF	CCH 31/22
GI 1	Netzgleichrichter	250 V/30 mA	GNB 14/250/20

Kennzeichen	Benennung	Wert	R&S-Sach-Nr.
I 1	Drehspulstrommesser	1 mA	IP 0721/1 mA
K 1	Anschlußkabel		LK 303
L 1	Schwingspule	5 μ H	F 610—3.2
L 2	Schwingspule	50 μ H	F 610—3.3
L 3	Schwingspule	500 μ H	F 610—3.4
L 4	Schwingspule	4,85 mH	F 610—3.5
L 5	Schwingspule	49 mH	F 610—3.6
L 6	Schwingspule	460 mH	F 610—3.7/1
L 7	Schwingspule	4,9 H	F 610—3.8/1
R 1	Schichtwiderstand	12,5 k Ω /2 W	WF 12,5 k/2
R 2	Schichtdrehwiderstand	2,5 k Ω lin.	WS 9122 F/2,5 k
R 3	Schichtwiderstand	1,6 k Ω /0,5 W	WF 1,6 k/0,5
R 4	Drahtdrehwiderstand	1 k Ω lin.	WR 4 F/1 k
R 5	Schichtdrehwiderstand	5 k Ω lin.	WS 7126/5 k
R 7	Schichtwiderstand	10 M Ω /0,5 W	WF 10 M/0,5
R 8	Schichtwiderstand	40 M Ω /1 W	WFS 3/40 M/1
R 9	Schichtwiderstand	5 M Ω /0,5 W	WF 5 M/0,5
R 10	Schichtwiderstand	1 M Ω /0,25 W	WF 1 M/0,25
R 11	Schichtwiderstand	1 M Ω /0,25 W	WF 1 M/0,25
R 12	Schichtwiderstand	1 M Ω /0,25 W	WF 1 M/0,25
R 13	Schichtwiderstand	1 M Ω /0,25 W	WF 1 M/0,25
RI 1	Zwerg-Glimmlampe	220 V	RL 210
Rö 1	Duo-Triode		6 SN 7
Rö 2	Duo-Diode		6 H 6
S 1	Scheibenschalter		SRN 325/32
S 2	Scheibenschalter		F 610—36
S 3	Spannungswähler		FD 603/2
S 4	Kippschalter		SR 122/3
Si 1	Schmelzeinsatz	100 mA	0,1 C DIN 41571
Tr 1	Netztransformator		F 610—4.2